



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

21 Aktenzeichen: 100 61 297.0
22 Anmeldetag: 8. 12. 2000
43 Offenlegungstag: 27. 6. 2002

11 **Anmelder:**
Siemens AG, 80333 München, DE

17 **Erfinder:**
Erfinder wird später genannt werden

55 **Entgegenhaltungen:**

DE 198 51 703 A1
EP 04 42 123 A1
WO 99 10 939 A2

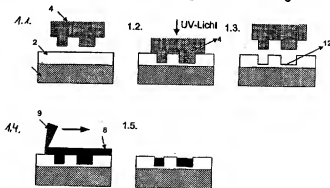
C.J. Drury et al.: "Low-cost all polymer integrated circuits" in "Applied Physics Letters", 73(1998)1, pp. 108-110 (von ANR bereits genannt);
G.H. Gelinck et al.: "High-performance all-polymer integrated circuits" in "Applied Physics Letters", 77(2000=10), pp. 1487-1489;
Xiang-Yang Zheng et al.: "Electrochemical Patterning of the Surface of Insulators with Electrically Conductive Polymers" in "J. Electrochem. Soc.", 142(1995)12, pp. L226f.;
DE 100 43 204 (nicht veröffentlichte, prioritäts-ältere Anmeldung der Anmelderin// von einer Zustellung der Ablichten wird hier Abgesehen);

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 **Organischer Feld-Effekt-Transistor, Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und integrierte Schaltung**

57 Die Erfindung betrifft einen organischen Feld-Effekt-Transistor, ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und eine integrierte Schaltung mit verbesserter Strukturierung der Funktionspolymerschichten. Die Strukturierung wird durch Einraskeln des Funktionspolymers in eine Formschicht, in der zunächst durch Imprinting Vertiefungen erzeugt wurden, erzielt.



[0001] Die Erfindung betrifft einen Organischen Feld-Effekt-Transistor, ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und eine integrierte Schaltung mit verbesserter Strukturierung der Funktionspolymerschichten.

[0002] Organische integrierte Schaltkreise (integrated plastic circuits) auf der Basis von OFETs werden für mikroelektronische Massenwendungen und Wegwerf-Produkte wie Identifikations- und Produkt-"tags" gebraucht. Ein "tag" ist z. B. ein elektronischer Streifencode, wie er auf Waren angebracht wird oder auf Koffern. OFETs haben ein weites Einsatzgebiet als RFID-tags: radio frequency identification - tags, die nicht nur auf der Oberfläche angeordnet sein müssen. Bei OFETs für diese Anwendungen kann auf das exzellente Betriebsverhalten der Silizium-Technologie verzichtet werden, aber dafür sollten niedrige Herstellungskosten und mechanische Flexibilität gewährleistet sein. Die Bauteile wie z. B. elektronische Strich-Kodierungen, sind typischerweise Einwegprodukte und sind wirtschaftlich nur interessant, wenn sie in preiswerten Prozessen hergestellt werden.

[0003] Bisher wird, wegen der Herstellungskosten, nur die Leiterschicht des OFETs strukturiert. Die Strukturierung kann nur über einen zweistufigen Prozess ("Lithographie-methode" vgl. dazu Applied Physics Letters 73(1), 1998, S. 108.110 und Mol. Cryst. Liq. Cryst. 189, 1990, S. 221-225) mit zunächst vollflächiger Beschichtung und darauffolgender Strukturierung, die zudem materialspezifisch ist, bewerkstelligt werden. Mit "Materialspezifität" ist gemeint, dass der beschriebene Prozess mit den genannten photochemischen Komponenten einzig an dem leitfähigen organischen Material Polyanilin funktioniert. Ein anderes leitfähiges organisches Material, z. B. Polypyrrol, lässt sich so nicht ohne weiteres auf diese Art strukturieren.

[0004] Die fehlende Strukturierung der anderen Schichten, wie zumindest die der halbleitenden und der isolierenden Schicht aus Funktionspolymeren, führt zu einer deutlichen Leistungsenkung der erhaltenen OFETs, darauf wird aber trotzdem aus Kostengründen verzichtet. Die strukturierte Schicht kann mit anderen bekannten Verfahren (wie z. B. Drucken) nur so strukturiert werden, dass die Länge l, die den Abstand zwischen Source und Drain Elektrode bezeichnet und damit ein Maß für die Leistungsdichte des OFETs darstellt zumindest 30 bis 50 µm beträgt. Angestrebt werden aber Längen l von unter 10 µm, so dass außer der aufwendigen Lithographie-Methode momentan keine Strukturierungsmethode sinnvoll erscheint.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist daher ein kostengünstiges und massenfertigungstaugliches Verfahren zur Strukturierung von OFETs mit hoher Auflösung zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist Aufgabe der Erfindung, einen leistungstärkeren, weil mit mehr strukturierten Schichten ausgestatteten sowie einen kompakteren OFET zu schaffen, der mit einem geringeren Abstand l herstellbar ist.

[0006] Gegenstand der Erfindung ist ein Organischer Feld-Effekt-Transistor (OFET), zumindest folgende Schichten auf einem Substrat umfassend:

- eine organische Halbleiterschicht zwischen und über zumindest einer Source- und zumindest einer Drain-Elektrode, die aus einem leitenden organischen Material sind,
- eine organische Isolationschicht über der halbleitenden Schicht und
- eine organische Leiterschicht,

wobei die Leiterschicht und zumindest eine der beiden anderen Schichten strukturiert ist. Außerdem ist Gegenstand

der Erfindung ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs durch Rakeln von zumindest einem Funktionspolymer in eine Negativ-Form. Schließlich ist Gegenstand der Erfindung eine integrierte Schaltung, die zumindest einen OFET, der zumindest eine strukturierte Leiterschicht und eine weitere strukturierte Schicht hat, umfasst.

[0007] Als Negativ-Form wird eine strukturierte Schicht oder ein Teil einer strukturierten Schicht bezeichnet, die Vertiefungen enthält, in die das Funktionspolymer, das z. B. eine Elektrode eines OFETs oder eine Halbleiter- oder eine Isolatorschicht bildet, durch Rakeln eingefüllt wird.

[0008] Das Verfahren umfasst folgende Arbeitsschritte:

- a) auf einem Substrat oder einer unteren Schicht wird eine, ggf. vollflächige Formschicht, die nicht auf den Bereich, der strukturiert werden soll beschränkt sein muss, aufgebracht. Diese Formschicht ist nicht das Funktionspolymer (also halbleitende, leitende oder isolierende Schicht), sondern ein anderes organisches Material, das als Form oder Klischee für die leitende organische Elektrodenerschicht dient. Dieses andere organische Material sollte isolierende Eigenschaften haben.
- b) die Formschicht erhält durch Imprinting (Eindrücken eines Stempelabdrucks mit nachfolgender Aushärtung durch Belichten) Vertiefungen, die den Strukturen entsprechen,
- c) in diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer flüssig, als Lösung und/oder als Schmelze hineingekalt.

[0009] Die Negativ-Form der Struktur auf der Formschicht kann durch die Imprintmethode, die eine auf dem Gebiet der elektronischen und mikroelektronischen Bauteile ausgereifte Technik darstellt, auf dem Substrat oder einer unteren Schicht erzeugt werden. Das Material der Negativ-Form kann ein UV-härtender Lack sein, der nach Imprinting und Belichten Vertiefungen besitzt.

[0010] Dafür geeigneten Lacke sind kommerziell erhältlich und die Methode ist durch Imprinting zu strukturieren, ist literaturbekannt. Allgemein wird bei dem Imprinting auf das ungehärtete Formpolymer, das als Schicht auf dem Substrat oder einer unteren Schicht aufgebracht ist, ein Stempel so eingedrückt, dass Vertiefungen in der Art, wie die Strukturierung erfolgen soll, entstehen. Die mit Vertiefungen versehene Schicht wird dann entweder thermisch oder durch Bestrahlung gehärtet, wodurch die feste Formschicht entsteht, in die das Funktionspolymer eingekegelt werden kann.

[0011] Der Vorteil der Rakel-Methode besteht darin, dass die schwierige Strukturierung von Funktionspolymeren durch die eingeführte und bewährte Imprintmethode vorbereitet wird. Dadurch kann auf einen reichen technischen Hintergrund zurückgegriffen werden und es können extrem feine Strukturen erzielt werden. Die Rakel-Methode ist zudem nicht materialspezifisch. Mit der Rakelmethode kann vielmehr Polyanilin, aber auch jedes andere leitfähige organische Material, wie z. B. Polypyrrol, zur Herstellung von Elektroden eingesetzt werden. Ebenso kann damit jedes andere organische Material wie z. B. Polythiophen als Halbleiter und/oder Polyvinylphenol als Isolator eingekegelt und somit strukturiert werden, also der gesamte OFET.

[0012] Nach einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Negativ-Form nach erfolgter Aushärtung des Funktionspolymers entfernt, so dass ein eventuell durch Verdunstung des Lösungsmittels oder Schrumpfung entstandener Höhenunterschied zwischen Funktionspolymer und Negativ-Form vermindert wird.

[0013] Ein anderer Ansatz, einen gegebenenfalls entstandenen Höhenunterschied zwischen Negativ-Form und

Funktionspolymer zu vermeiden, liegt in der Wiederholung des Eintragsvorgangs, wodurch das Volumen der Negativform einfach weiter aufgefüllt wird.

[0014] In der Regel kann man die Funktionspolymere weitgehend in ihrer optimalen Konsistenz belassen. So besitzt z. B. Polyanilin als leitfähiges organisches Material bei optimaler Leitfähigkeit eine bestimmte Viskosität. Wenn Polyanilin beispielsweise gedruckt werden soll und nicht eingekalkt, so muss seine Viskosität auf einen der Druckmethode angepassten Wert eingestellt werden. Das bedeutet meistens Einbuße der Leitfähigkeit. Für das Rakeln ist die Viskositätsspanne ungleich größer als für das Drucken, so dass in aller Regel keine Viskositätsänderungen am organischen Material vorgenommen werden müssen.

[0015] Schließlich ist ein Vorteil der Rakelmethode die Fähigkeit zu dicken Schichten. So ist z. B. die Leitfähigkeit von 1 µm dicken Polymerelektroden effektiv höher als bei üblicherweise 0,2 µm Schichtdicke. Ein OFET mit einer Schichtdicke im Bereich von bis zu 1 µm, insbesondere im Bereich von 0,3 bis 0,7 µm ist deshalb vorteilhaft.

[0016] Als "Funktionspolymer" wird hier jedes organische, metallorganische und/oder anorganische Material bezeichnet, das funktionell am Aufbau eines OFET und/oder einer integrierten Schaltung aus mehreren OFETs beteiligt ist. Dazu zählen beispielhaft die leitende Komponente (z. B. Polyanilin), das eine Elektrode bildet, die halbleitende Komponente, die die Schicht zwischen den Elektroden bildet und die isolierende Komponente. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung "Funktionspolymer" demnach auch nicht polymere Komponenten, wie z. B. oligomere Verbindungen, umfasst.

[0017] Als "organisch" wird hier kurz alles, was "auf organischem Material basiert" bezeichnet, wobei der Begriff "organisches Material" alle Arten von organischen, metallorganischen und/oder anorganischen Kunststoffen, die im Englischen z. B. mit "plastics" bezeichnet werden, umfasst. Es handelt sich um alle Arten von Stoffen mit Ausnahme der klassischen Halbleiter (Germanium, Silizium) und der typischen metallischen Leiter. Eine Beschränkung im dogmatischen Sinn auf organisches Material als Kohlenstoff-enhaltendes Material ist demnach nicht vorgesehen, vielmehr ist auch an den breiten Einsatz von z. B. Siliconen gedacht. Weiterhin soll der Term keiner Beschränkung auf polymere oder oligomere Materialien unterliegen, sondern es ist durchaus auch der Einsatz von "small molecules" denkbar.

[0018] Als "untere Schicht" wird hier jede Schicht eines OFETs bezeichnet, auf die eine zu strukturierende Schicht aufgebracht wird. Die Formschicht aus dem Formpolymer schließt an die "untere Schicht" oder das Substrat an. Das Formpolymer wird hier durch die Bezeichnung "polymer" auch nicht auf einen polymeren Aggregatzustand festgelegt, vielmehr kann es sich bei dieser Substanz auch um alle praktisch einsetzbaren Kunststoffe zur Ausbildung einer Negativ-Form handeln.

[0019] Im Folgenden wird eine Ausführungsform des Verfahrens noch anhand von schematischen Figuren näher erläutert.

[0020] Fig. 1.1 zeigt das Substrat oder eine untere Schicht 1 auf die die Formschicht der Negativ-Form 2, beispielsweise aus einem Formpolymer wie einem UV-härtbaren Lack, z. B. vollflächig aufgebracht ist. Die Formschicht 2 wird mit einem Prägestempel 4, wie in Fig. 1.2, gezeichnet, mit Vertiefungen versehen, also es werden in die Formschicht 2 Vertiefungen mit dem Stempel 4, der beispielsweise aus Siliziumdioxid (SiO₂) sein kann, eingepreßt. Während der Stempel 4 die Vertiefungen 12 einträgt wird die Formschicht 2 mit UV-Licht bestrahlt, wodurch das Formpolymer 2 unter permanenter Ausbildung der Vertiefungen 12 aus-

härtert. Dadurch entstehen die Vertiefungen 12 in der Formschicht 2, wie sie in Fig. 1.3, gezeigt sind. Der Stempel 4 wird nach beendeter Prägung aus der Formschicht 2 herausgezogen. In die Vertiefungen 12 wird das Funktionspolymer 8 (z. B. Polyanilin) mit einem Rakel 9 hineingerakelt (Fig. 1.4.). In Fig. 1.5. erkennt man, wie im fertigen OFET das Funktionspolymer 8 die Vertiefungen 12 der Formschicht 2 ausfüllt.

[0021] Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform des Verfahrens im kontinuierlichen Prozess oder kontinuierlichen Rollendruck. Zu sehen ist das Band aus Substrat oder unterer Schicht 1 mit dem Formpolymer 2, das ein UV-härtbarer, aber auch ein thermisch härtpbarer Lack sein kann. Dieses Band wird nun von links nach rechts, wie durch den Pfeil 13 angedeutet, entlang mehrerer Andruckrollen 10 verschiedenen Arbeitsschritten unterworfen. Zunächst passiert es das Schattenblech 3, mit dem das noch nicht gehärtete Formpolymer 2 gegen Bestrahlung geschützt wird. Danach werden in das Formpolymer 2 mit Hilfe der Stempelrolle 4 Vertiefungen eingepreßt, die mit der in der Stempelrolle 4 integrierten UV-Lampe 5 gleich angehärtet werden. Die von 5 ausgehende Pfeilrichtung zeigt die Richtung des Lichtkegels, der von 5 ausgestrahlt wird, an. Das mit Vertiefungen 12 in der Formschicht 2 versehene Band zieht dann unter einer UV-Lampe oder Heizung 6 zur Nachhärtung vorbei, so dass ein strukturierter Lack 7 entsteht. In den strukturierten Lack 7 mit den Vertiefungen 12 wird dann mit dem Rakel 9 das Funktionspolymer 8 eingerakelt, so dass die fertige Struktur 11 entsteht.

Patentsprüche

1. Organischer Feld-Effekt-Transistor (OFET), zumindest folgende Schichten auf einem Substrat umfassend: eine organische Halbleiterschicht zwischen und über zumindest einer Source- und zumindest einer Drain-Elektrode, die aus einem leitenden organischen Material sind, eine organische Isolationsschicht über der halbleitenden Schicht und eine organische Leiterschicht, wobei die Leiterschicht und zumindest eine der beiden anderen Schichten strukturiert ist.
2. OFET nach Anspruch 1 mit einem Abstand 1 zwischen Source und Drain Elektrode von kleiner 20 µm, insbesondere von kleiner 10 µm und ganz bevorzugt von 2 bis 5 µm.
3. OFET nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der eine Elektrode mit einer Schichtdicke von 1 µm umfasst.
4. Integrierte Schaltung, die zumindest einen OFET, der zumindest eine strukturierte Leiterschicht und eine weitere strukturierte Schicht hat, umfasst.
5. Verfahren zur Strukturierung eines OFETs durch Rakeln von zumindest einem Funktionspolymer in eine Negativ-Form.
6. Verfahren nach Anspruch 5, folgende Arbeitsschritte umfassend:
 - a) auf einem Substrat oder einer unteren Schicht wird eine Formschicht für eine Negativform aufgebracht,
 - b) diese Formschicht erhält Vertiefungen, die den Negativen der späteren Strukturen entsprechen und
 - c) in diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer hineingerakelt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, bei dem die Formschicht nach der Strukturierung entfernt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem zumindest zweimal das Funktionspolymer in die Vertiefungen der Formschicht eingerakelt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, bei dem die Vertiefungen in der Formschicht durch Imprining erzeugt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, das als kontinuierliches Verfahren mit einem durchlaufenden Band durchgeführt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

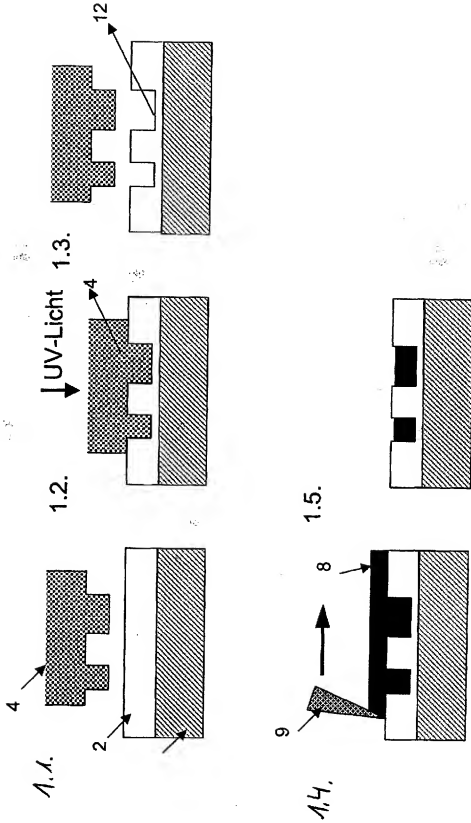
50

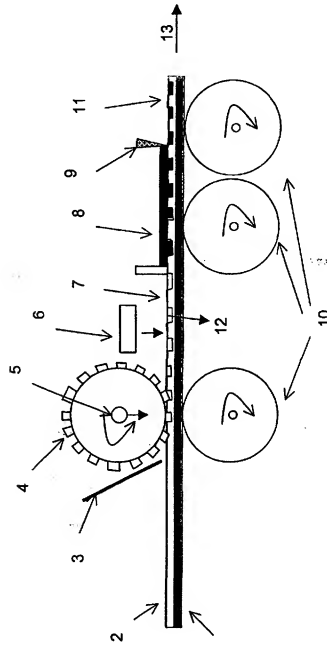
55

60

65

Figur 1)





Figur 2)